

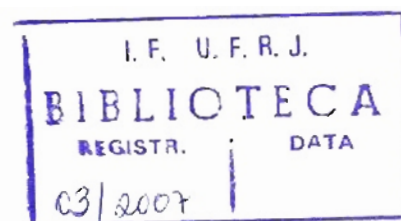
MARCIO HENRIQUE DA SILVA

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO

ELEMENTOS BÁSICOS DO PLASMA

Rio de Janeiro

Agosto, 2007



MARCIO HENRIQUE DA SILVA

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO
ELEMENTOS BÁSICOS DO PLASMA

Monografia apresentada ao Curso de
Licenciatura em Física, da Universidade
Federal do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Artur
Braun Chaves

Rio de Janeiro
Agosto, 2007

Silva, Marcio Henrique.
Elementos básicos do plasma/ Marcio Henrique da Silva. – Rio
de Janeiro, RJ: [s.n], 2007.
55f.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Artur Braun Chaves
Trabalho de final de curso (monografia) - Universidade Federal
do Rio de Janeiro.

À minha mãe Lourdes e ao Ronaldo e também a todos os amigos que contribuíram, direta ou indiretamente para que este trabalho fosse realizado.

AGRADECIMENTOS

Aos professores, que contribuíram para que hoje eu tenha me tornado um pouco mais preparado que quando entrei na faculdade.

Aos amigos que a vida na faculdade me trouxe e que me ajudaram a permanecer firme até o fim.

Aos amigos que foram imprescindíveis para o meu ingresso no ensino superior.

"A ciência serve para nos dar uma
idéia de quão extensa é a nossa
ignorância".

Hugo de Lamennais

RESUMO

A importância de introduzir no Ensino Médio conceitos da Física Moderna e Contemporânea vem sendo alvo de discussões de vários pesquisadores da área de ensino de Física. Este projeto expõe uma proposta de atividade extra-curricular para apresentar os elementos básicos do plasma físico para alunos do ensino médio. Tal atividade consiste em uma aula no formato de seminário de caráter informativo. É feita uma breve análise dos três estados fundamentais da matéria seguida da definição de plasma físico. Na exposição também são abordados os plasmas naturais, características e fenômenos básicos do plasma, formas de confinamento do plasma na Terra, aplicações e exemplos de plasmas presentes no cotidiano.

SUMÁRIO

Introdução	10
Os Alunos e a Física	12
Os Estados da matéria	14
Definição de plasma	17
Plasmas Naturais	19
Sol	19
Camadas do sol e fenômenos relacionados	21
Magnetosfera	25
Aurora Polar	25
Ionosfera	25
Relâmpago	26
Características do plasma	27
Tipos de fibras	28
Fenômenos básicos no plasma	31
Colisões	32
Oscilações e ondas	32
Derivas	33
Instabilidades	34
Reconexão de linhas magnéticas	36
Reconexão no sol	38
Reconexão na magnetosfera	39
Confinamento de plasma na Terra	40
Aplicações	40
Plasmas no cotidiano	42

Metodologia e desenvolvimento da proposta	44
Plano de aula	46
Descrição do PPT	48
 Conclusão	 52
 Bibliografia	 53

Introdução

Ainda que a Física Moderna e Contemporânea seja reconhecida como a representação de uma nova e revolucionária maneira de interpretar o comportamento da natureza, servindo de alicerce intelectual para os mais recentes avanços tecnológicos da humanidade, muitos trabalhos ainda são publicados no sentido de apresentar noções, conceitos, modelos e aplicações desta área da Física ao ensino médio tendo em vista sua não-inclusão no currículo escolar destes alunos.

O objetivo deste trabalho é a divulgação da cultura científica para alunos do terceiro ano do ensino médio através de uma atividade extra-curricular que é na verdade um seminário onde serão apresentados os elementos básicos do plasma segundo o plano de aula na página 46. De acordo com Terrazan (1992), “aparelhos, artefatos e fenômenos cotidianos em uma quantidade muito grande apenas são compreendidos se alguns conceitos estabelecidos a partir do século XX forem utilizados”. O plasma físico é, sem dúvida, um deles tendo em vista que é utilizado num número cada vez maior de objetos de uso cotidiano como lâmpadas fluorescentes e TV's de plasma, entre outros.

Além disso, segundo Valadares e Moreira (1998),

É imprescindível o estudante do ensino médio conhecer os fundamentos da tecnologia atual já que atua em sua vida e certamente definirá seu futuro profissional.

Porém, mesmo que não falem justificativas para a apresentação de um tema de Física Moderna e Contemporânea para alunos do nível médio, é preciso ter em mente o grande número de obstáculos que se opõem a ela, seja pelo fato de que “o ensino de Física tradicionalmente oferecido por nossas escolas avança, no máximo, até o século XX” (PINTO e ZANETIC, 1999) ou porque ele está sujeito à “desatualização curricular, desmotivação dos estudantes, abordagem excessivamente formalista, ênfase no ensino de cinemática e baixa qualificação acadêmica dos professores”. (OSTERMANN e CAVALCANTI, 2001)

Os problemas existem e são necessárias ações no sentido de solucioná-los. Se a Física ensinada atualmente em nossas escolas não é a ideal, é preciso dar-lhe qualidade. No entanto, o trabalho não se encerra neste ponto, pois além de melhorar o que já vem sendo ensinado é imprescindível dar a estes alunos a oportunidade de conhecer a Física Moderna e Contemporânea porque, segundo Pinto e Zanetic (1999) ela:

Explica fenômenos que a Física clássica não explica, uma nova visão de mundo, uma Física que hoje é responsável pelo atendimento de novas necessidades que surgem a cada dia, tornando-se cada vez mais básicas para o homem contemporâneo, um conjunto de conhecimentos que extrapola os limites da ciência e da tecnologia, influenciando outras formas do saber humano.

Como para boa parte dos alunos o último contato com a Física se dá no ensino médio, contribuir com uma ação no sentido de lhes disponibilizar esses conceitos se torna ainda mais importante.

Os alunos e a Física

De acordo com Santos e Tavares (2004)

A ojeriza que grande contingente de alunos do curso médio sente por Física deve-se em parte à ausência de alternativas de aprendizagem apresentadas a esses alunos. Coloca-se a aprendizagem memorística como a única possibilidade existente.

Em outras palavras, é o velho problema de pensar no ensino médio como um curso preparatório para o vestibular. Esse tipo de atitude leva os alunos a verem a Física como “um monte de equações que devem ser misturadas a um monte de dados e, daí, supostamente sairão as respostas aos problemas propostos”.(SANTOS e TAVARES, 2004)

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e, não só, mas também por isso, vazios de significado.(PCN, 1999)

Dessa maneira cria-se um abismo entre a Física e os alunos, fazendo com que o conhecimento científico fique cada vez menos difundido. É preciso “promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem” (PCN, 1999) para que eles possam reconhecer a Física como parte integrante de seu cotidiano. Sendo assim, “é imprescindível considerar o mundo vivencial dos alunos, sua realidade próxima ou distante, os objetos e fenômenos com que efetivamente lidam, ou os problemas e indagações que movem sua curiosidade”.(PCN, 1999)

Ao proporcionar esses conhecimentos, o aprendizado da Física promove a articulação de toda uma visão de mundo, de uma compreensão dinâmica do universo, mais ampla do que nosso entorno material imediato, capaz portanto de transcender nossos limites temporais e espaciais. Assim, ao lado de um caráter

mais prático, a Física revela também uma dimensão filosófica, com uma beleza e importância que não devem ser subestimadas no processo educativo. (PCN, 1999)

Nessa perspectiva, conteúdos da Física Moderna e Contemporânea correspondem a uma necessidade vital de nossos currículos de física escolar. A própria importância dos temas de Física Moderna e Contemporânea na constituição da Física, enquanto área do conhecimento científico, exige sua inclusão nos currículos escolares. (TERRAZAN, 1994)

Devemos, portanto, encontrar maneiras práticas e viáveis de tornar o acesso à cultura científica mais prático e de fácil compreensão para aqueles que desejarem este tipo de conhecimento.

Os Estados da Matéria

A natureza à nossa volta pode se manifestar de formas diferentes, os chamados estados da matéria. Dependendo da energia cinética média de suas moléculas, uma substância pode ser encontrada no estado sólido, líquido ou gasoso sendo que a temperatura e a pressão no ambiente em que ela se encontra são os dois principais fatores na determinação de seu estado físico.

A água, por exemplo, pode ser facilmente encontrada nos três estados básicos ora como gelo (sólido), ora como líquido ou com suas moléculas difundidas no ar (gasoso). A mudança de fase apresenta características peculiares, pois é um momento no qual “o calor ganho ou perdido pela substância não se transforma em energia cinética, ou seja, não provoca a alteração da média das velocidades de suas partículas”.(GASPAR, 2000)

Mas se a energia cedida ou fornecida não está sendo convertida em energia cinética ela deve se transformar em alguma outra forma de energia (pelo princípio da conservação). Sendo assim,

Se o calor não se transforma em energia cinética das partículas, deve transformar-se em energia potencial e como este tipo de energia está relacionado à posição, podemos supor que a forma ou a configuração das partículas constituintes da substância sofre um rearranjo ou reorganização – a substância muda de fase. (GASPAR, 2000)

Principais características dos estados da matéria:

Os três estados fundamentais da matéria apresentam características específicas que os diferem um do outro:

Sólido – no estado sólido, a forma e o volume são bem definidos. Apresenta maior resistência a ser deformado e praticamente não sofre influência da pressão externa exercida pelo ambiente (incompressibilidade). Possui estrutura tridimensional bem organizada (rede cristalina) exceto nos chamados sólidos amorfos (vidro, plástico, borracha). Num corpo sólido a distância entre as moléculas é pequena, sendo que a força entre elas é relativamente

grande. O movimento das moléculas que constituem um corpo sólido é vibracional.(GUIMARÃES, FONTE BOA, 2001)

Líquido – no estado líquido, o volume é bem definido, mas a forma será definida pelo recipiente em que ele estiver confinado. Como a distância entre as moléculas é intermediária e a força entre elas, moderada, o estado líquido só se mantém se a pressão ambiente for suficiente para manter suas moléculas ligadas. Uma substância que na superfície da Terra se encontra na fase líquida passará instantaneamente para a fase gasosa na superfície da lua, por exemplo, onde não há pressão atmosférica. O movimento das moléculas neste estado físico pode ser tanto de vibração quanto de translação. (GUIMARÃES, FONTE BOA, 2001)

Gasoso – no estado gasoso tanto o volume quanto a forma não são bem definidos. É o estado com maior grau de desorganização das moléculas devido ao grande afastamento entre elas e à quase ausência de forças intermoleculares. O movimento das moléculas de uma substância que se encontra no estado gasoso é de translação.(GUIMARÃES, FONTE BOA, 2001)

O aumento da energia cinética média das moléculas de um corpo sólido como o gelo, por exemplo, leva à passagem para o estado líquido formando a água propriamente dita. Esta, ao ser aquecida, forma o vapor d'água devido ao aumento da energia cinética das moléculas que a constituem. A partir deste ponto, manter o fornecimento de calor resulta na excitação dos elétrons das camadas externas ionizando o gás. Os choques cada vez mais violentos entre os átomos fazem com que eles percam todos os seus elétrons e a matéria passa então a ser composta por um gás formado por elétrons e íons carregados positivamente a altas temperaturas, o plasma.(MARTINS, 2004)

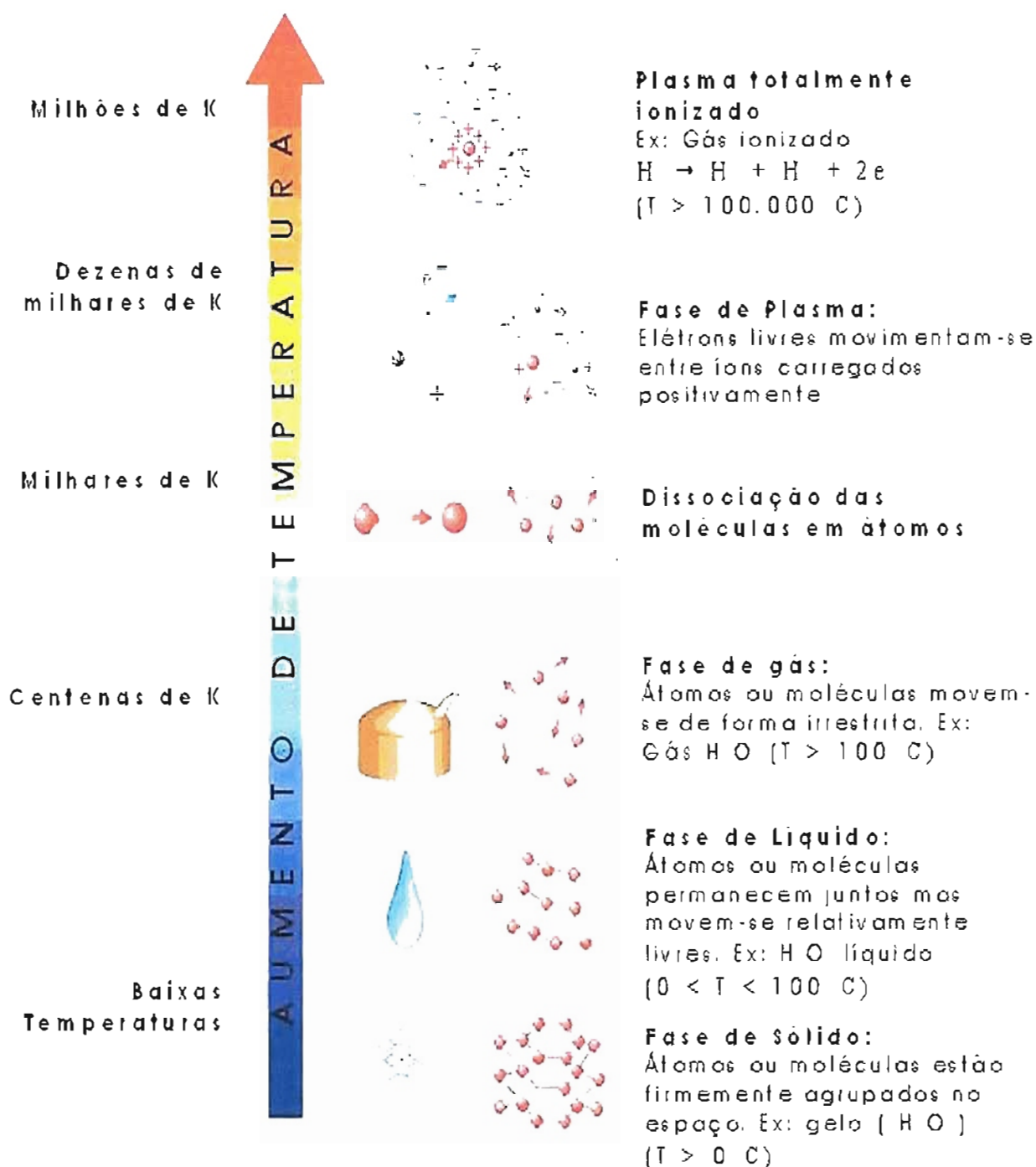


Figura 1: Estados da Matéria

Fonte: Site UFPEL

Definição de Plasma

De acordo com Kulhanek et al (1) (2003), em pesquisa publicada no site do Grupo Aldebaran, o plasma é o quarto estado da matéria e também o mais abundante do universo (estima-se que cerca de 99% da matéria visível esteja na forma de plasma). Trata-se de um conjunto quase-neutro de partículas com portadores de carga livres as quais desenvolvem comportamento coletivo.

Numa escala macroscópica, o plasma pode ser considerado neutro, ou seja, “por fora” ele se comporta como um fluido sem carga. Porém, se for analisado microscopicamente, será possível encontrar porções de volume carregadas eletricamente. Por isso, o plasma é definido como sendo quase-neutro, mas não totalmente.

A presença de portadores de carga livres explica vários fenômenos que ocorrem no plasma. É graças a eles que o plasma conduz corrente elétrica (pode conduzir melhor que o cobre) e reage fortemente tanto a campos elétricos como magnéticos.

O comportamento coletivo ocorre devido ao fato de o plasma sofrer a ação de campos elétricos e magnéticos gerados por ele mesmo, ou seja, o movimento de cada uma das partículas carregadas que compõem o plasma é influenciado pelo movimento de todas as demais. Esse movimento é caracterizado por oscilações coletivas devido às forças coulombianas (longo alcance) e não pelas colisões entre as partículas (curto alcance). Isso explica a capacidade que o plasma tem de fluir como um líquido viscoso.

Os plasmas podem apresentar valores de densidade e temperatura numa grande faixa de abrangência. A densidade varia mais de 30 ordens de grandeza enquanto a temperatura chega a variar mais de 7 de relativamente frio e tênue como uma aurora a muito quente e denso como no coração de uma estrela. (Site INPE-1)

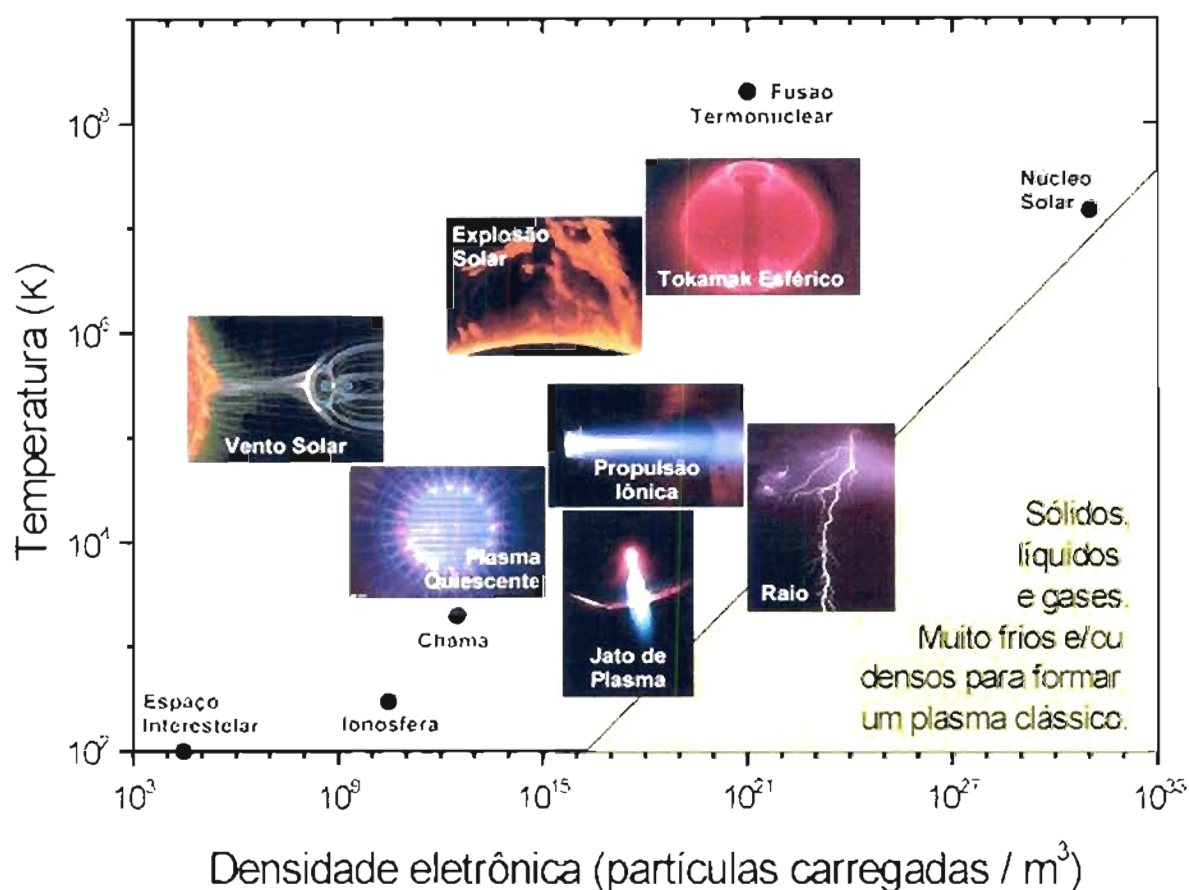


Figura 2: Faixa de temperatura e densidade do plasma. Fonte (Site INPE - 1)

Os conjuntos de partículas carregadas onde a quantidade de cargas positivas e negativas não seja próxima uma da outra não cumprem a condição de quase-neutralidade. Da mesma maneira os gases fracamente ionizados (como a chama de uma vela) não cumprem a condição de comportamento coletivo e por essa razão alguns autores não os considera como exemplos de plasma. O conceito de plasma foi usado pela primeira vez por Irwing Langmuir para descrever um gás ionizado em 1928 (KULHANEK P. et al-1, 2003).

Plasmas Naturais

O Sol

O sol é uma esfera maciça de gás luminoso. Nele encontramos vários exemplos de estruturas fibrosas helicoidais nas quais verifica-se a presença de correntes de Birkeland fluindo ao longo das linhas de força dos campos magnéticos locais. É composto basicamente por hidrogênio (~90%) e hélio (~10%) apresentando também frações menores de elementos mais pesados como carbono, oxigênio e ferro. (Site CPEP-1)

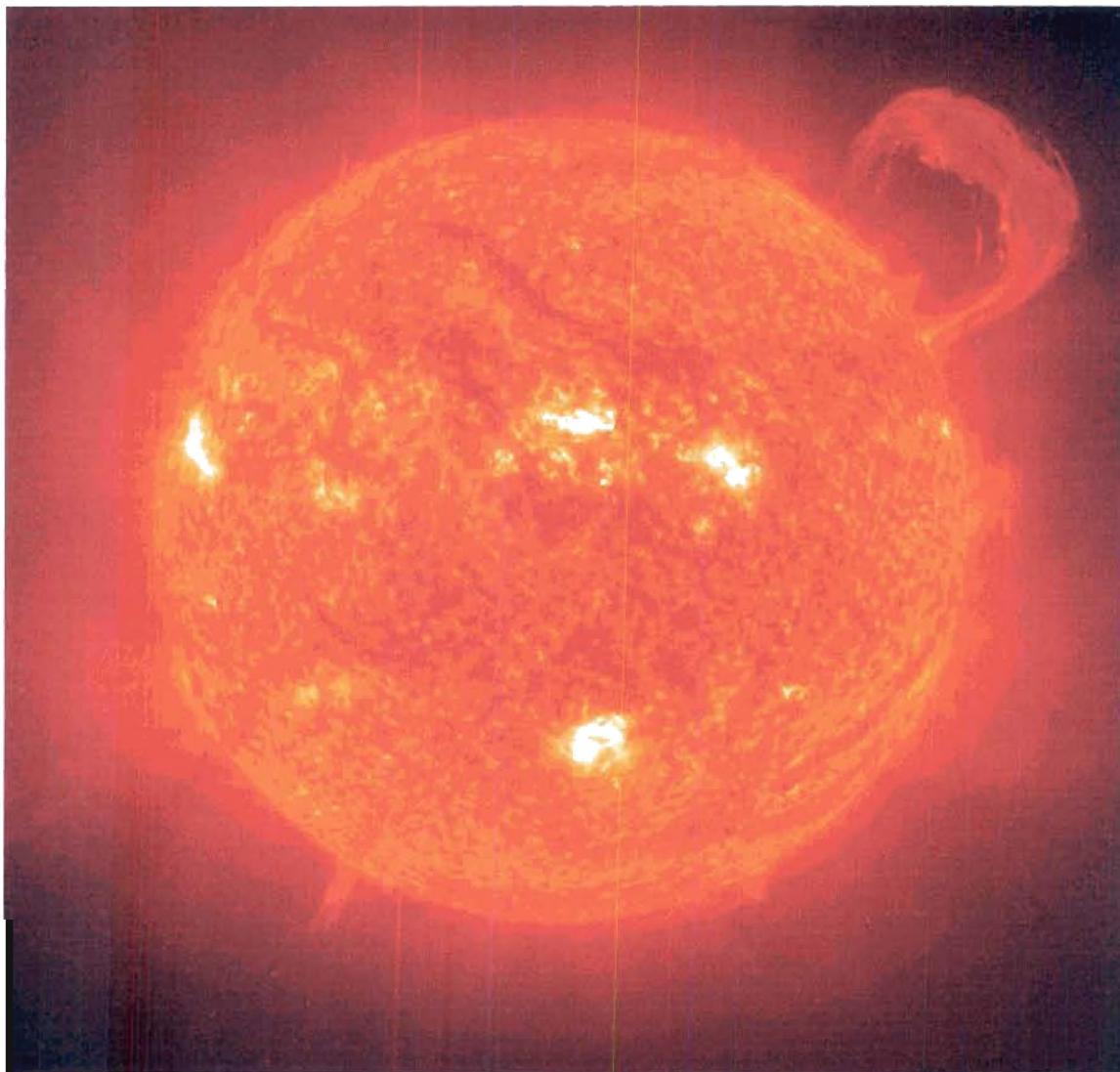


Figura 3: Sol Fonte: Site NASA (1)

Diferentemente do que muitos acreditam, o sol não está parado, ele gira em torno de seu eixo assim como a Terra, levando 27 dias para dar uma volta completa. Porém, ao contrário da Terra, esse movimento de rotação não é uniforme tendo em vista que o equador solar gira mais rápido que as regiões próximas aos pólos (Site NASA-2).

A existência e manutenção da vida na Terra só são possíveis graças à energia (na forma de luz e ao calor) fornecida pelo sol. Esta energia tem origem na fusão termonuclear que ocorre em seu interior numa região localizada a até cerca de 0,3 vezes o tamanho de seu raio de distância ao seu centro, formando núcleos de hélio a partir de prótons devido às condições de temperatura e densidade ($\sim 10^7$ K e 100g/cm^3) que existem neste local (Site CPEP-1).

O sol produz radiação ultravioleta, raios-x, partículas e campos magnéticos. A região do espaço que sofre influência do sol é chamada de heliosfera e inclui o vento solar e todas as magnetosferas dos planetas do sistema solar.

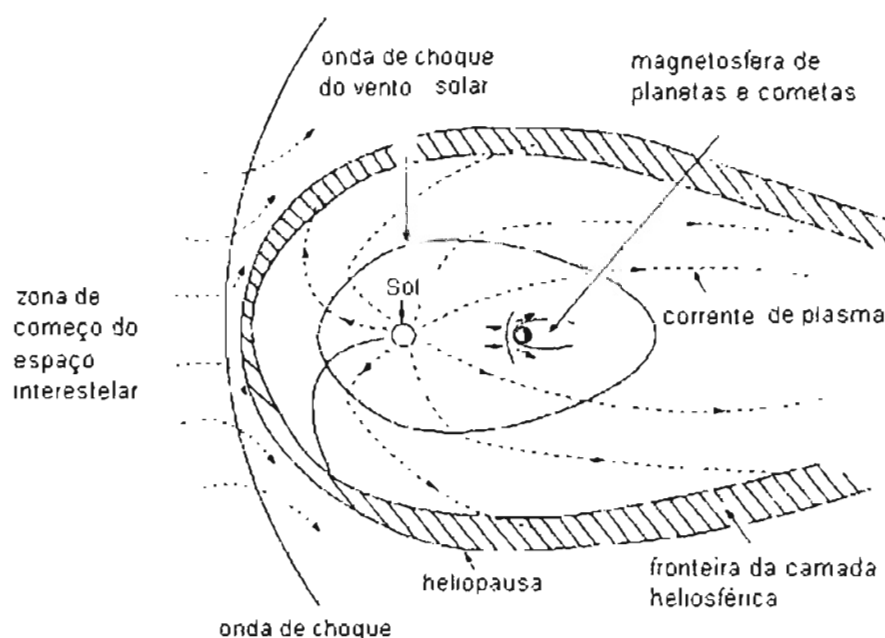


Figura 4: Magnetosfera do sol Fonte: KULHANEK P. et all (4), 2003
LEGENDAS, TRADIÇÃO DO AUTOR

Camadas do Sol e Fenômenos Relacionados

Os fenômenos envolvendo o plasma no sol não estão restritos apenas à sua superfície, eles também se desenvolvem em diversas regiões de seu interior. Para facilitar o estudo e compreensão destes fenômenos a esfera solar é dividida em várias camadas desde o centro (coração) até a coroa (camada mais externa).

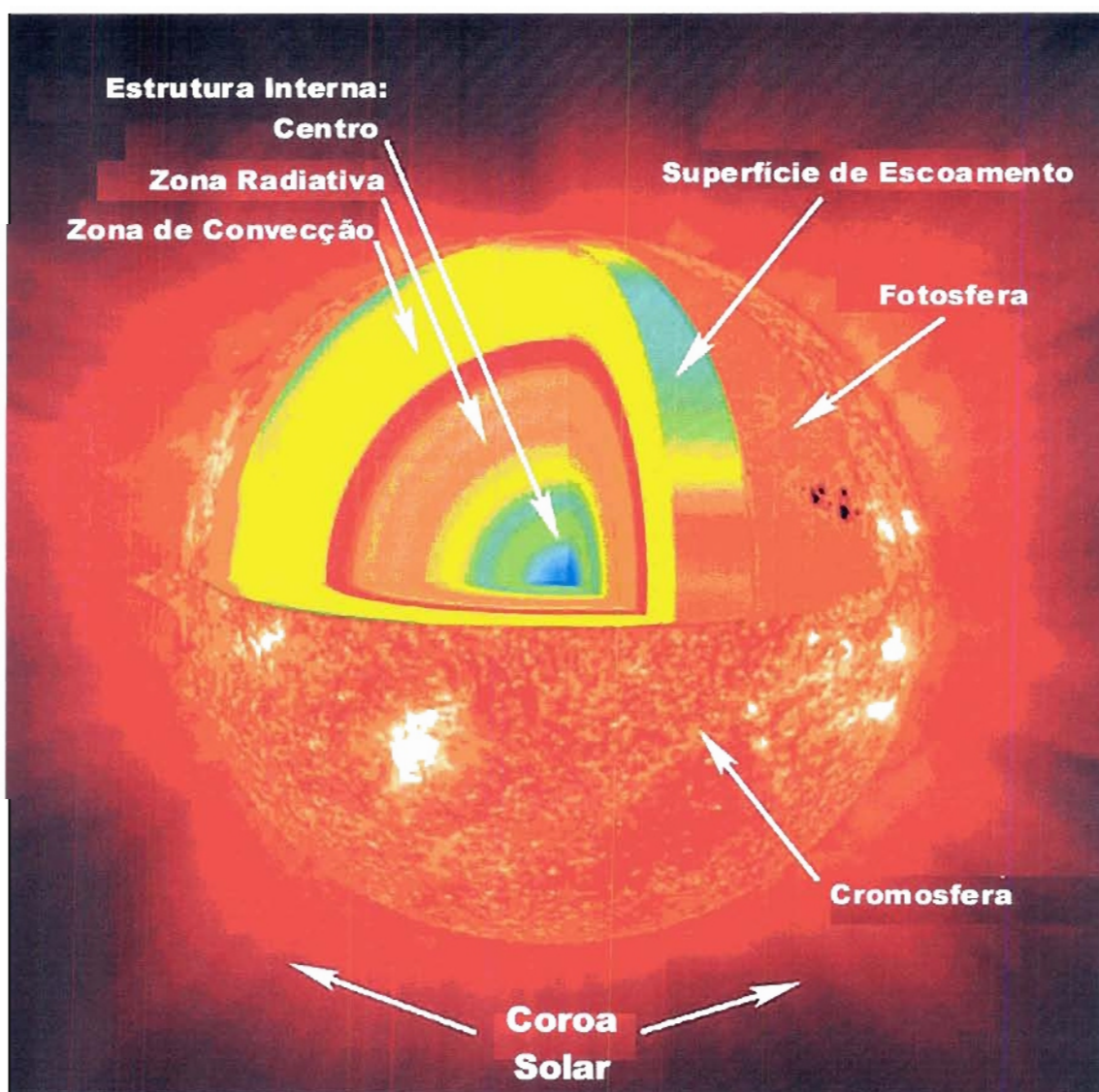


Figura 5. Camadas do sol Fonte: Site NASA(5) LEGENDAS, TRADUÇÃO DO AUTOR

Centro (coração)

A camada mais interna do sol é o seu centro onde a altíssima temperatura (aproximadamente 15 milhões de Kelvins) o mantém no estado gasoso apesar de sua densidade ser 10 vezes maior que a do chumbo (160 g/cm^3).

É no centro do sol que ocorre a fusão termonuclear dos isótopos de hidrogênio em núcleos de hélio sendo esta reação responsável pela produção de energia na forma de raios gama entre outras. Os raios gama são fótons de alta energia que, durante sua jornada para fora da esfera solar, são absorvidos e re-emitidos por vários átomos até deixar o envelope, quando se tornam (cada um deles) milhares de fótons de baixa energia. (CPEP-2)

Envelope Solar

Ao redor do centro está o envelope radioativo que é envolto pelo envelope convectivo. Estas camadas apresentam valores de densidade e temperatura (4 milhões de Kelvins) bem menores que as presentes no coração do sol. A massa solar se distribui em 40% no centro e 60% no envelope, enquanto que o volume do centro corresponde a 10% do total e o do envelope a 90%. A manutenção da elevada temperatura no centro do sol é mantida pela pressão que o envelope exerce sobre ele. (Site CPEP-2)

Fotosfera

A distâncias de cerca de 0.7 vezes o raio do sol a partir de seu centro, o transporte de energia é feito por convecção (através das chamadas células de convecção) uma vez que a difusão se mostra menos eficiente. Esta energia é irradiada para o espaço numa região conhecida como fotosfera, que é a superfície visível do sol. Ela apresenta uma temperatura de cerca de 6000 K e sua espessura é de algumas centenas de quilômetros.

(Site CPEP-2)

- Manchas Solares

As manchas solares foram primeiramente observadas em detalhe por Galileu e, desde então, passou-se a acreditar que elas se tratavam de nuvens flutuando na atmosfera do sol. Hoje sabemos, no entanto, que as manchas solares são na verdade manchas escuras na fotosfera com aproximadamente o mesmo diâmetro da Terra.

Nelas o campo magnético é quase tão intenso quanto o campo nos pólos de um ímã. Este campo “freia” o fluxo de calor oriundo do centro do sol, fazendo com que a mancha solar em si seja mais fria que as regiões em torno dela (4500 K).

Apesar de já se conhecer bem o ciclo de vida das manchas solares (cerca de 11.5 anos, período no qual seu número oscila, aumentando ou diminuindo), ainda não é muito clara a forma como elas são criadas. A rotação desigual do sol é vista como uma das possíveis causas de seu surgimento.(Site NASA-2)

Cromosfera

O círculo avermelhado que fica visível ao redor da lua em algumas ocasiões, nas quais ela se posiciona à frente da face solar visível na Terra, é a camada conhecida como cromosfera. Partindo do centro em direção à fotosfera, a temperatura diminui gradualmente.No entanto, apesar de ser uma camada mais externa, a cromosfera possui uma temperatura maior (7000 K) que a da fotosfera (6000 K). (Site CPEP-2)

Coroa Solar

A camada mais externa do sol é a coroa (uma estrutura parecida com uma pérola branca ao redor da cromosfera que, a exemplo dela, só é visível durante um eclipse total do sol). A coroa é na verdade uma nuvem de plasma de baixa densidade mais transparente que as camadas mais internas com temperaturas que variam de 1 a 2×10^6 K.

Por ser um plasma, ela é um excelente condutor elétrico podendo se mover ao longo de linhas de campo magnético. Sua estrutura se deve ao campo magnético solar que parece ter além do intenso campo das manchas solares, um campo magnético global semelhante ao da Terra.

As linhas de campo magnético podem ser fechadas, quando estão ancoradas em dois pontos da fotosfera, ou abertas, quando estão ancoradas em um único ponto da fotosfera, podendo então se estender pelo espaço. É nas linhas de campo magnético abertas que a coroa se expande pelo espaço na forma de vento solar.(Site CPEP-2)

- Clarões

Os clarões são centelhas de energia na coroa do sol que, aparentemente, estão relacionados à ocorrência de tempestades magnéticas na Terra. Sua temperatura é extremamente elevada (11 milhões de Kelvins) e eles podem se expandir por dezenas de milhares de quilômetros numa questão de minutos, chegando a se desenvolver por várias horas.

Um fenômeno como esse requer uma grande quantidade de energia num intervalo de tempo muito pequeno. Acredita-se que a fonte desta energia seja o campo magnético do sol, pois, pelo menos em teoria, só campos desta natureza são capazes de liberar energia com tamanha rapidez. (Site NASA-2)

Vento Solar

A elevada temperatura da coroa ($\sim 10^6$ K) impede que a gravidade do sol a mantenha confinada e isso resulta na sua constante perda de partículas, a partir das franjas mais externas. Esse fluxo ininterrupto de partículas que preenche o espaço interplanetário recebeu o nome de vento solar. (Site NASA-2)

Foi através de observações do estranho comportamento dos cometas (mais precisamente de suas caudas) que se cogitou pela primeira vez a possível existência de uma “radiação corpuscular solar” fluindo através do espaço a partir do sol (Site NASA-3). A velocidade do vento solar varia numa faixa entre 300 e 900 km/s sendo o valor médio de 400 km/s.

Ao se expandir, sua densidade diminui à medida em que se distancia do sol e, ao atingir uma distância grande o bastante em relação a ele (estima-se entre 130 e 170 unidades astronômicas) sua velocidade cai de 400 para 20 km/s. Esta região é chamada de limite de choque heliosférico.

O vento solar, ao deixar o sol, “leva” consigo o campo magnético local (as partículas seguem a linha de campo aberta como se fossem contas amarradas num fio) pelo qual contribuem as manchas solares e polos magnéticos do sol, formando o campo magnético interplanetário. Graças ao movimento de rotação do sol, o ponto onde a linha de campo está fixa no sol se move, fazendo com que o campo magnético interplanetário tenha forma espiral.

Durante seu movimento de expansão, o vento solar é confrontado, por exemplo, pelo campo magnético da Terra (e de outros planetas como Júpiter e Saturno). Com isso, ele é forçado a desviar o campo da Terra, moldando assim sua magnetosfera.
(Site CPEP-1)

Magnetosfera

A magnetosfera de um planeta é a região do espaço onde seu campo magnético se encontra confinado pelo fluxo de partículas carregadas provenientes do sol (vento solar). Na Terra, ela é limitada pela ionosfera superior e pela magnetopausa (região que separa as partículas solares das oriundas da ionosfera) e se divide em dois lados: diurno e noturno.

No lado diurno a posição da magnetopausa coincide com a região onde a pressão magnética é equilibrada pela pressão do plasma solar (~10 raios terrestres de distância do centro do globo), enquanto no lado noturno a magnetosfera se prolonga como uma cauda que apresenta uma faixa central neutra envolta por uma zona de plasma quente.

(ENCICLOPÉDIA LAROUSSE CULTURAL, 1995)

Aurora Polar

A interação do vento solar com o campo magnético da Terra produz uma grande quantidade de corrente elétrica. Essa corrente percorre as linhas de campo magnético do planeta e provoca emissão de luz ao atingir os átomos que compõem a atmosfera. A luz emitida pode se manifestar em diferentes formas (longos arcos, cortinas se estendendo como fitas, manchas e véus) e cores (avermelhada para o caso do nitrogênio e esverdeada para o oxigênio, que também pode emitir luz numa tonalidade próxima do vermelho). O fenômeno das auroras é visível na Terra e em todos os planetas gasosos do sistema solar.

(Site NASA-4)

Ionosfera

Um dos exemplos de plasmas naturais que se manifestam na Terra é a ionosfera. Como tal, ela conduz eletricidade e sofre forte influência do campo magnético do planeta. O início da ionosfera está entre 70 e 80 km acima do chão e ela se estende por milhares de quilômetros até atingir a magnetosfera tendo, por isso, valores de densidade e temperatura

variáveis ($10^9 - 10^{12}$ partículas/ m^3 , $10^2 - 10^3$ K). (ENCICLOPÉDIA LAROUSSE CULTURAL, 1995)

Relâmpago

Existe um fluxo natural, lento, uniforme e quase constante de eletricidade partindo da superfície negativamente carregada da Terra em direção à atmosfera positivamente carregada quando o céu está limpo (sem nuvens). O relâmpago é a forma natural de retorno dos elétrons a Terra, fazendo com que sua polaridade negativa seja recuperada.

(Site CPEP-3)



Figura 6. Raio *Fonte: Site CPEP (3)*

Características do plasma

No plasma reina o caos. Com a perda de todos os elétrons, os átomos se tornam incapazes de emitir radiação característica, pois não há elétrons para transitar entre as órbitas eletrônicas. Um plasma de hidrogênio gasoso onde cada átomo neutro possui 1 elétron possui as mesmas propriedades que um plasma de hélio gasoso, no qual cada átomo neutro possui 4 elétrons. Órbitas eletrônicas selecionadas e radiação característica deixam de existir.(NETTO, 2000-2007)

São características do plasma:

- ✓ Emissão de radiação eletromagnética;
- ✓ Blindagem do campo elétrico das cargas;
- ✓ Semelhanças com o estado gasoso: ambos são rarefeitos e fluidos;
- ✓ Assim como ocorre nos condutores metálicos, se a secção do plasma pela qual flui uma corrente elétrica for reduzida a resistência aumenta, provocando seu aquecimento;
- ✓ Tendência a criar formações lineares e de superfície como a fibra plasmática (compactado) e as superfícies de corrente ou paredes compactas;
- ✓ Projeção de derivas: partículas que se movimentam perpendicularmente aos campos elétricos e magnéticos, entre outros;
- ✓ Expansão de grande quantidade de ondas de diferentes tipos devido a sua forte reatividade a campos elétricos e magnéticos;

Devido à existência de muitas partículas carregadas, quando se aplica um potencial ao plasma ele é curto-circuitado em alguns comprimentos de Debye a partir do ponto em que o potencial tiver sido aplicado. O potencial de uma carga q no vácuo é dado pela relação:

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

onde q é a carga geradora, r é a distância a esta carga e ϵ_0 é a chamada permissividade de vácuo.

Quando escrita em relação ao plasma, a relação acima se torna:

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} e^{-\frac{r}{\lambda_D}}$$

onde λ_D é o comprimento de Debye¹, definido através da expressão:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{kT_e}{4\pi n_0 e^2}}$$

onde k é a constante de Boltzmann, T_e é a temperatura e n_0 é a densidade do plasma

No plasma a força sobre uma carga alvo Q qualquer aumenta com a distância (r). É por isso que predominam as forças de longo alcance. (COSTA, 2003)

Tipos de Fibras

Assim como para interações de origem gravitacional predominam as formas esféricas, para as interações de origem eletromagnética (caso do plasma) predominam as formas cilíndricas. Tais estruturas são chamadas de fibras plasmáticas.

- Compactado: os compactados talvez sejam as formações plasmáticas mais comuns. São caracterizados pela passagem de corrente ao longo de seu eixo, a qual gera um campo magnético azimuthal em torno dele. Este campo exerce uma força de Lorentz sobre a fibra

¹ De acordo com a UNB o comprimento de Debye (λ) proposto pelo físico francês P. J. W. Debye em 1935, fornece uma medida da distância na qual a influência de um campo elétrico perturbativo é sentida no interior do plasma.

tentando contrai-la. A esta força se opõe o gradiente de pressões plasmáticas (responsável pela dispersão do gás) e se estabelece um equilíbrio instável fato que explica o curto tempo de vida deste tipo de fibra.

- Compactado helicoidal: caso as linhas de força magnética sejam retorcidas (como uma corda) o compactado se tornará uma estrutura relativamente estável. Numa situação como esta o compactado é dito helicoidal e, se tiver tempo suficiente, pode se deformar para uma estrutura em espiral energeticamente mais favorável. A corrente que percorre o eixo da fibra espiralada é paralela às linhas de força do campo magnético, sendo conhecida como corrente de Bierkland. O compactado onde existe uma corrente de Birkland é obrigatoriamente helicoidal.

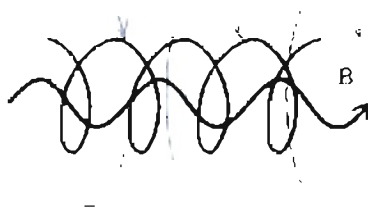


Figura 7: Compactado Helicoidal Fonte: KULHANEK P. et all (3), 2003.

- Biespiral: é comum encontrar fibras de corrente enroladas mutuamente. Isso ocorre quando compactados espirais de correntes de mesmo sentido se atraem mutuamente desde que estejam previamente distantes um do outro. Eles não chegam a se tocar, pois a curtas distâncias a componente azimutal da corrente faz com que se afastem. Assim sendo, é possível criar um par energético biespiral.

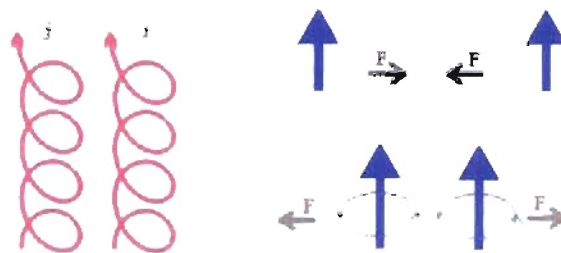


Figura 8. Compactado Biespiral

Fonte: KULHANEK P. et all (3), 2003.

- Muro de corrente: além das estruturas cilíndricas ordinárias é possível que o compactado se manifeste como uma camada de corrente ou muro compacto que se mantém pelo seu próprio campo magnético. A corrente que flui pelo muro produz um campo magnético adjacente que toma a componente azimutal do campo num compactado normal impedindo que a parede se desintegre. Os brilhos polares são exemplos deste tipo de fibra. As correntes laminadas fluem ao longo do campo magnético dos planetas, ou seja, são exemplos de correntes de Bierkland. (KULHANEK P. et all-3, 2003)

Fenômenos básicos no plasma

O comportamento do plasma pode ser determinado pelo seu grau de ionização (razão entre o número de partículas ionizadas e o número de partículas total). Ele é um dos parâmetros mais importantes para descrever este comportamento e depende principalmente da temperatura. Além disso, o grau de ionização explica uma série de fenômenos que ocorrem no plasma. É possível obter seu valor utilizando a equação de Saha:

$$\frac{n_i}{n_n} = CT^{\frac{3}{2}} \exp\left[\frac{-U_i}{kT}\right] \quad C \sim 2,4 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$$

Onde n_i é a concentração de íons que perderam 1 elétron, n_n é a concentração de partículas neutras, U_i é o potencial de ionização e T é a temperatura do plasma. A equação de Saha também é útil na análise de gases. (KULHANEK P. et al-1, 2003)

Na ligação metálica, um ou dois elétrons de valência de cada átomo se tornam livres para vagar pelo material, sendo, portanto compartilhados por todos os átomos. Assim, um cristal metálico pode ser imaginado como uma rede íons positivos imersos em um gás de elétrons. É a atração entre os íons da rede e o gás de elétrons que mantém o sólido coeso. (TIPLER, 2001)

De acordo com o modelo descrito acima, os metais também podem ser considerados como um tipo de plasma (mesmo sendo sólidos), no entanto, sua quantidade de portadores de carga livres não pode ser determinada pela equação de Saha.

Colisões

As mudanças de direção entre as partículas do plasma se devem na maior parte à sua interação com o campo elétrico ($\sim 1/r^2$) e em menor parte às colisões entre elas tendo em vista que estas colisões são menos bruscas quando comparadas às observadas entre partículas neutras.

A distância média na qual se chega a um desvio de 90° no sentido original do movimento é o caminho médio livre. O aumento da temperatura age diminuindo a seção de choque e as partículas, tendo então elevadas velocidades interagem num intervalo de tempo muito curto o que implica desvios menos acentuados nas suas trajetórias.

São as colisões entre as partículas que determinam a condutividade elétrica no plasma. A condutividade depende principalmente da temperatura ($\sigma \sim T^{3/2}$). Com o aumento da temperatura, a condutividade do plasma cresce, visto que a seção de choque diminui. Nos metais ocorre o inverso, pois aumentando a temperatura, os elétrons se tornam excitados fazendo com que aumente a desordem e, assim, a resistência à passagem de corrente se torna maior.

A densidade (espessura óptica) do plasma depende do caminho médio livre dos fótons. Se as dimensões do plasma forem comparáveis ao caminho médio livre da radiação eletromagnética que o atravessa ele é dito opticamente escasso. Caso contrário, será dito opticamente denso e o brilho dos fótons irá interagir fortemente com ele.

(KULHANEK P. et al-1, 2003)

Oscilações e ondas

É possível que se desenvolvam no plasma ondas nas frequências acústicas, de rádio e ópticas, além de uma grande quantidade de oscilações. Isso é resultado do comportamento coletivo das partículas carregadas que o compõem (elétrons e íons).

As ondas e oscilações se propagam de maneira mais eficiente no plasma que nos gases ou líquidos (estas não chegam nem a 10% de modos que se propagam plasma) devido ao fato de ele reagir de forma intensa aos campos elétricos e magnéticos.

As ondas que se propagam no plasma podem ser classificadas em:

- Ondas de baixa frequência: são aquelas que possuem frequência próxima à frequência de oscilação dos íons $\omega_{pi} = (ne^2/m_i\epsilon_0)^{1/2}$. São ondas acústicas

que sofrem influência de um campo magnético, sendo por isso também conhecidas como magnetoacústicas.

- Ondas de alta frequência: são aquelas que possuem frequência próxima à frequência de oscilação dos elétrons $\omega_{pe} = (ne^2/m_e\epsilon_0)^{1/2}$. São ondas que apresentam frequências de rádio ou ópticas e se relacionam com as ondas eletromagnéticas que se propagam no plasma onde n_e , e e m_e representam, respectivamente, a densidade, o módulo da carga e a massa do elétron. ϵ_0 é a permissividade elétrica no vácuo.

Derivas

De modo geral, as partículas carregadas se movimentam descrevendo círculos ou helicoidalmente em torno das linhas de força do campo magnético (movimento este conhecido como rotação de Larmor). Neste tipo de movimento a frequência é dita ciclotrônica ($\omega = QB/m$) e o raio da órbita é conhecido como raio de Larmor ($R_L = mv/QB$). Uma deriva se manifesta quando um outro campo está presente no plasma (desde que ele mude pouco no tempo e no espaço quando comparado ao período e ao raio da rotação de Larmor). As partículas carregadas passam a se mover ao longo das curvas perpendiculares ao campo elétrico e ao campo magnético (estas curvas são chamadas de trocóides). A velocidade do movimento curvilíneo (deriva) é $v_d = F \times B / QB^2$. Como para o campo elétrico, $F = QE$ o módulo desta velocidade é $v_d = E/B$. Em ondas eletromagnéticas este resultado nos dá o valor da velocidade da luz (c) enquanto para o plasma se trata da velocidade de deriva das partículas. (KULHANEK P. et al-2, 2003)

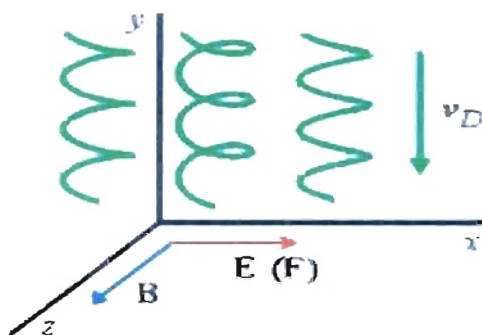
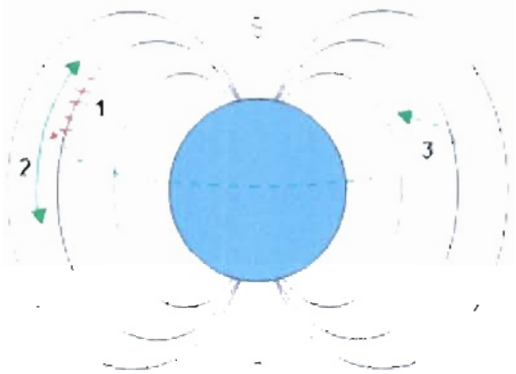


Figura 9: Derivas Fonte: KULHANEK P. et al (2), 2003.



Uma partícula em um dipolo magnético tem três movimentos:

1. Rotação de Larmor.
2. Movimento ao longo das linhas de força com reflexão nas zonas polares. A reflexão ocorre nas partes densas do campo magnético.
3. Deriva transversal às linhas de força por efeito da força centrífuga gerada pelo movimento 2. A velocidade desta deriva é perpendicular tanto ao campo magnético como a esta força centrífuga.

Figura 10: Derivas mais conhecidas. Fonte: KULHANEK P. et al (2), 2003.

Instabilidades

As instabilidades são responsáveis por alterações imprevisíveis na configuração dos plasmas. Quando um evento pequeno como flutuações aleatórias, distúrbios resultados de influências externas entre outros, produz tais alterações, está caracterizada uma instabilidade.

São exemplos de instabilidade no plasma:

- Colar de contas: quando uma fibra de plasma sofre estrangulamento (desde que através de seu eixo circule uma corrente) o campo magnético induzido agirá intensificando o efeito do estrangulamento até que a fibra se quebre em pedaços menores semelhantes a um colar de contas.

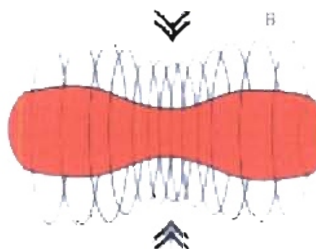


Figura 11: Instabilidade Colar de Contas

Fonte: KULHANEK P. et al (2), 2003.

- Instabilidade de enroscamento: se uma fibra com as mesmas características das da descrita no caso anterior sofrer uma inflexão, o campo magnético induzido agiria intensificando este efeito, fazendo com que a fibra se inflexione ainda mais.



Figura 12: Instabilidade de Enroscamento Fonte: KULHANEK P. et all (2). 2003.

Reconexão de Linhas Magnéticas

Segundo Kulhanek et al (4, 2003), um dos fenômenos mais importantes relacionados ao plasma é a reconexão de linhas de força magnética. Ele pode ser descrito como um "curto circuito" magnético, numa analogia ao que ocorre em um circuito elétrico quando a corrente "encontra" um caminho menos resistente à sua passagem. De uma forma mais específica, as linhas de força magnética alteram a estrutura de sua topologia original para outra configuração energética mais conveniente, liberando energia neste processo.

Com isso, o plasma é aquecido chegando a emitir radiação na região dos raios x. Um fenômeno tal como a reconexão das linhas magnéticas implica uma alteração fundamental no comportamento do plasma e permite explicar vários processos que nele se desenvolvem e até o momento não são completamente compreendidos (clarões na coroa solar, fenômenos na fronteira da magnetosfera terrestre e no espaço interplanetário etc.).

As correntes elétricas que fluem no plasma podem aquecê-lo por efeito Joule contribuindo para alcançar a transformação dos componentes térmicos, magnéticos e cinéticos da energia total, desde que o plasma tenha condutividade finita. Um modelo para descrever o fenômeno da reconexão consiste em duas regiões do campo magnético (no plasma) se aproximando uma da outra, sendo que cada uma tem orientação oposta das linhas de força. Entre elas se desenvolve a chamada região de difusão, onde o valor do campo magnético é menor. É aí que ocorre a mudança de topologia das linhas de campo magnético, ou seja, a reconexão em si.

Durante o processo, uma corrente muito alta flui até a região de difusão provocando o aquecimento do plasma (a energia do campo magnético se converte em energia térmica) que emite radiação, liberando o excesso de energia. A reconexão também influencia o movimento macroscópico do plasma que deixa de se mover perpendicularmente às linhas de campo e passa a ser expulso na direção da orientação original delas (setas vermelhas na figura a seguir).

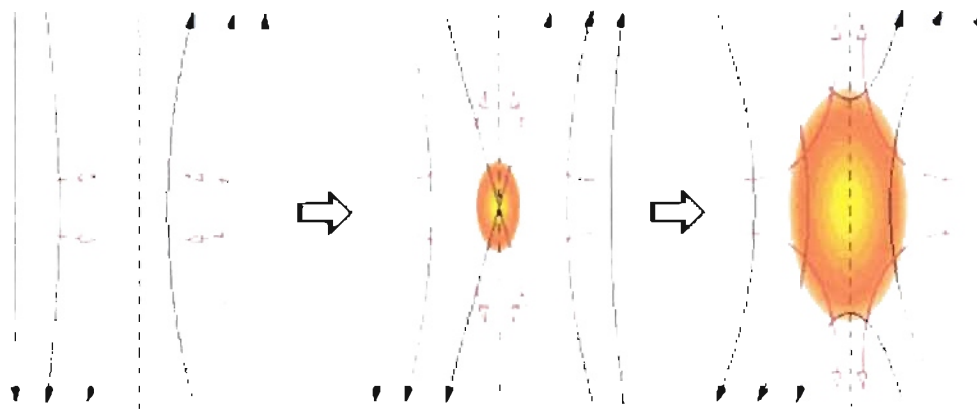


Figura 13: Ação da reconexão de linhas magnéticas no plasma. Fonte: KULHANEK P. et al (4), 2003.

O meio da região de difusão, onde o valor do campo magnético é nulo, em alguns casos é chamado de ponto neutro do tipo x (dependendo da forma das linhas de força magnética) e no caso tridimensional uma curva completa é criada ao redor de pontos como este. Uma reconexão recursiva das linhas de força magnética (pontos x e o periodicamente repetidos) pode ocorrer em algumas situações, criando uma instabilidade.

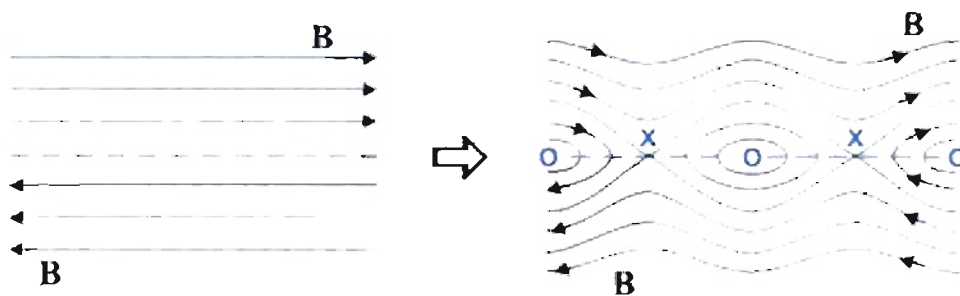


Figura 14: Reconexão recursiva

Fonte: KULHANEK P. et al (4), 2003.

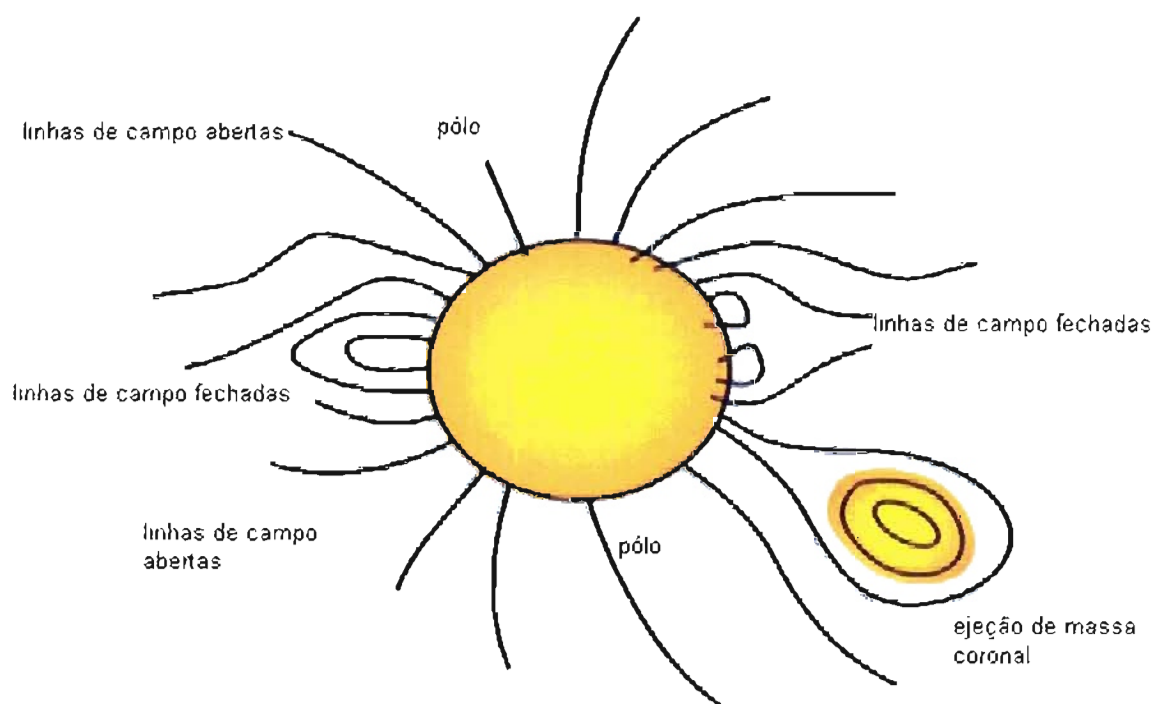
Uma reconexão produz uma formação compacta de plasma (plasmóide) e jatos (zonas de plasma) que podem ter consigo porções de energia do campo magnético transformadas em energia cinética e térmica.

Reconexão no sol

Dentre os fenômenos relacionados a reconexão de linhas de força magnética a ejeção de massa coronal a partir do sol é um dos exemplos mais conhecidos. Próximo à superfície se encontra um forte campo local como nas vizinhanças das manchas solares e protuberâncias.

As condições necessárias ao desenvolvimento da reconexão das linhas de campo (linhas de força com orientação oposta) podem ocorrer num anel alongado de campo magnético (na verdade, é comum que isso aconteça) ocorrendo assim a transformação da energia liberada em energia térmica.

Deste processo origina-se uma nuvem quente que emite radiação (a maioria na região dos raios x) e que pode se separar do sol na forma de um plasmóide com campo magnético congelado até a sua superfície, capaz de viajar pelo sistema solar.



*Figura 15: Reconexão no sol Fonte: KULHANEK P. et all (4), 2003.
LEGENDAS: TRADUÇÃO DO AUTOR*

A colisão entre um plasmóide como este e um planeta produz uma onda de choque que flui desde as cúspides polares (regiões semelhantes a um funil próximas ao

campo magnético do planeta), conseguindo atingir a magnetosfera do planeta. Disto resultam os brilhos polares (auroras), tempestades magnéticas etc.

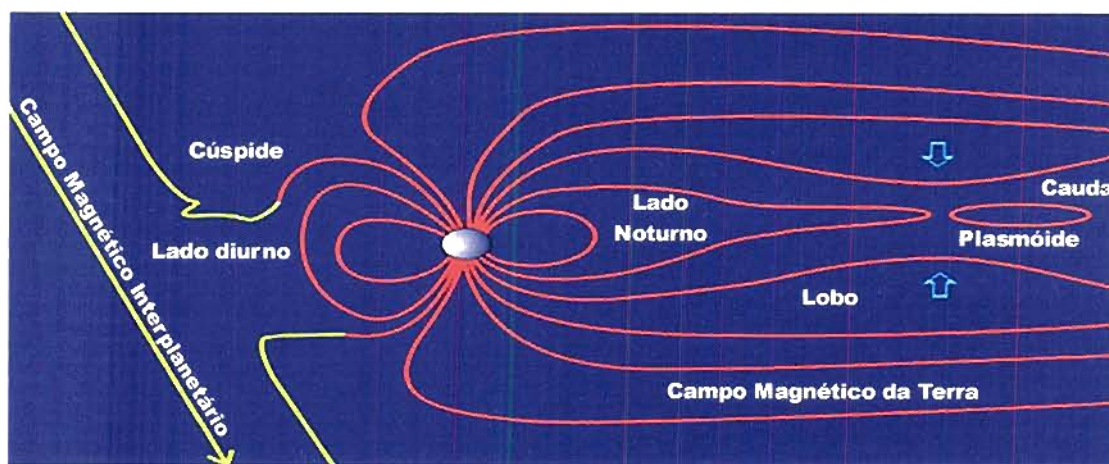
A indução de tempestades magnéticas e o surgimento de uma diferença de potencial (que pode danificar redes elétricas) são conseqüências da colisão de um plasmóide deste tipo com a Terra. (KULHANEK P. et all-4, 2003)

Reconexão na Magnetosfera

Na magnetosfera terrestre o fenômeno da reconexão das linhas de força magnética ocorre freqüentemente, seja no lado diurno ou no lado noturno. As linhas de força do campo magnético interplanetário interagem com as do campo magnético da Terra no lado diurno da magnetosfera. Se nessa interação as linhas tiverem orientações opostas e se uma corrente grande o suficiente de plasma solar fluir na direção da Terra, é possível que ocorra a reconexão entre os dois tipos de linhas de força (interplanetário e terrestre). Sendo assim, as partículas carregadas podem alcançar as camadas superiores da atmosfera através das aberturas recém criadas entre as linhas de força que sofreram reconexão, originando o brilho polar.

Se o fluxo de plasma consegue romper a magnetosfera é criada uma tempestade magnética e ele alcança o lado noturno onde são induzidas ainda mais reconexões. Com isso, são criados plasmóides com campo magnético “congelado”.

(KULHANEK P. et all-4, 2003)



Figura!6: Reconexão na magnetosfera da Terra Fonte: KULHANEK P. et all (4), 2003.
LEGENDAS TRADUÇÃO DO AUTOR

Confinamento de Plasma na Terra

Em lugares como o sol, o plasma é mantido confinado graças ao imenso campo magnético que ali existe. Porém, um campo dessa intensidade requer uma quantidade de massa muitas vezes maior que a do planeta inteiro, sem contar que os valores de densidade semelhantes aos encontrados no coração das estrelas são praticamente impossíveis de se obter em laboratório.

A alternativa é usar gases com densidades mais moderadas e compensar isso aumentando a temperatura até atingir valores muitas vezes mais elevados que a do centro do sol. Nestas condições, a matéria se encontra em estado de plasma. Em contrapartida, não existe na Terra um material que resista a uma temperatura tão alta, fato que torna inviável criar um recipiente adequado para armazenar o plasma produzido. Para realizar tal tarefa, usam-se campos magnéticos que possuam uma geometria adequada. Tendo em vista a natureza elétrica do plasma (é composto por íons e elétrons livres), o campo magnético atua como um recipiente, mantendo o plasma confinado em uma determinada região já que suas partículas deixam de se mover aleatoriamente e passam a espiralar ao redor das linhas do campo. (Site INPE-3)

Um reator com estas características é conhecido como TOKAMAK (uma sigla russa que significa câmara toroidal de campo magnético). Estas máquinas foram idealizadas por físicos soviéticos na década de 60 e passaram a ser construídas e experimentadas em vários países a partir de 1968. Atualmente cientistas têm trabalhado no desenvolvimento do TOKAMAK esférico que é mais estável (o que melhora o confinamento do plasma), tem melhor desempenho e é mais barato que o TOKAMAK tradicional.(ENCICLOPÉDIA LAROUSSE CULTURAL, 1995)

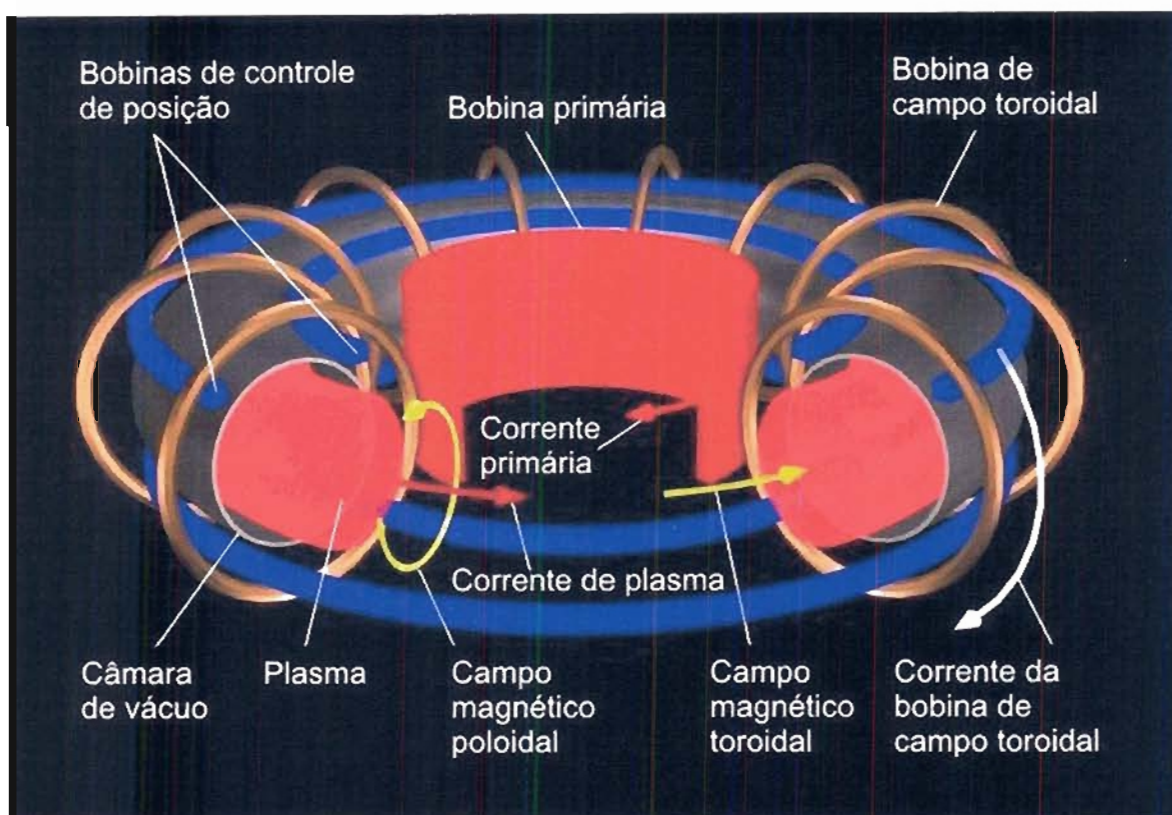


Figura 17: Representação artística dos componentes do TOKAMAK toroidal. Fonte: INPE(2)

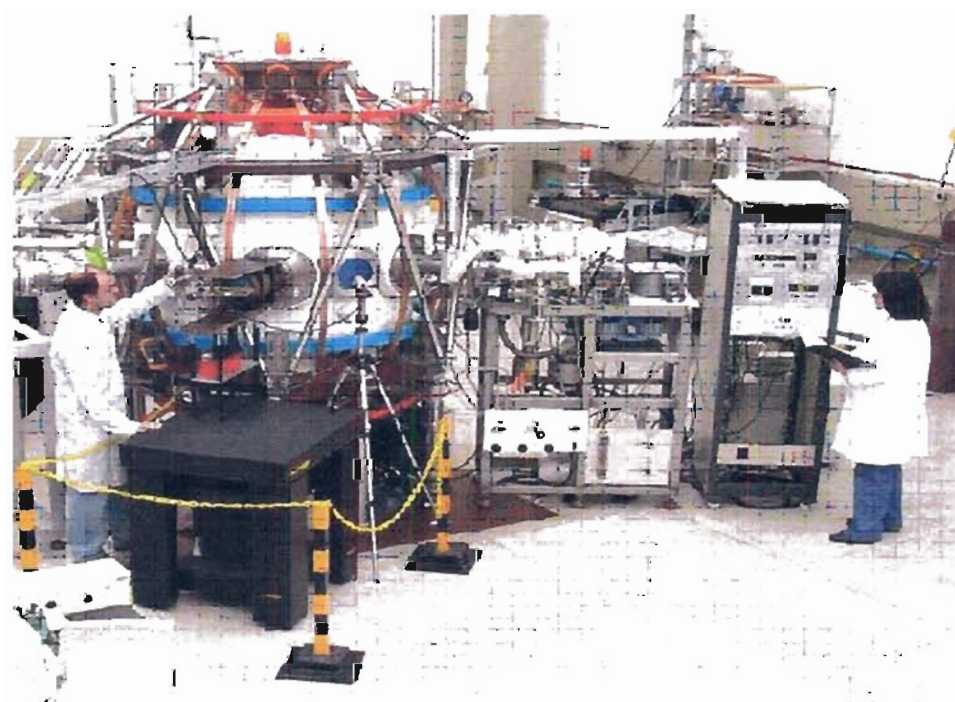


Figura 18: Laboratório do TOKAMAK esférico. Fonte Site: INPE (2)

Aplicações

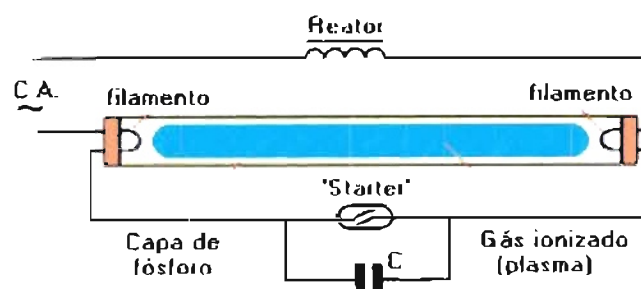
Em entrevista concedida em 04 de dezembro de 2001 ao “Bate-papo programado” do site do IPT o chefe do Laboratório de Plasma do IPT, Roberto Nunes Szente, afirma que o plasma pode ser utilizado no tratamento de lixo hospitalar, resíduos tóxicos orgânicos e inorgânicos, recuperação do alumínio e silício de escórias, entre outros.

Segundo ele, a alta eficiência energética, o controle da atmosfera de dentro do reator sendo utilizado e a possibilidade de alcançar altas temperaturas nele são algumas das vantagens do uso desta técnica, ressaltando que os processos a plasma não são poluentes. Ao ser indagado sobre o custo desta tecnologia, Szente afirma que, além de ser competitiva economicamente, ela é limpa, o que permite a produção de materiais inertes (matriz férrea e matriz cerâmica) passíveis de serem reutilizadas. Além das possíveis aplicações citadas anteriormente, Szente cita a extensa utilização dos plasmas de baixa temperatura em várias etapas do processo de fabricação de chips de computador e conclui afirmando que apesar das vantagens, a tecnologia do plasma é relativamente recente sendo que, no Brasil, as aplicações industriais estão praticamente restritas ao IPT.

Plasmas no cotidiano

Um dos exemplos mais comuns do uso do plasma no cotidiano é a lâmpada fluorescente. No interior de lâmpadas deste tipo existe uma atmosfera de baixa pressão e quando uma diferença de potencial é aplicada em seus terminais, os eletrodos ali presentes emitem elétrons que se movem em direção à extremidade oposta do tubo (onde se encontra o eletrodo de polaridade positiva).

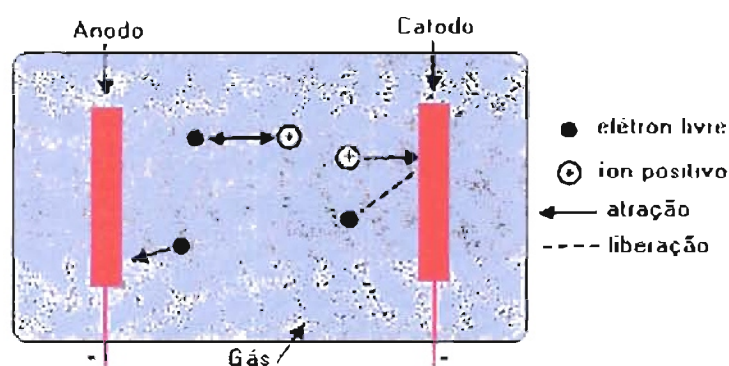
Durante este percurso, os elétrons atingem os átomos de mercúrio e argônio que estão no interior da lâmpada. Se a energia dos elétrons for suficiente, o átomo é ionizado, produzindo novos elétrons, o que faz com que o gás no interior do tubo passe a ser composto por íons e elétrons livres sendo, portanto, capaz de conduzir corrente elétrica (ou seja, atinge o estado de plasma). Caso contrário, o átomo é excitado e emite luz na faixa do ultravioleta.



Circuito típico da lâmpada fluorescente

Figura 19: Componentes de uma lâmpada fluorescente Fonte: NETTO (2000-2007)

A luz desse faixa do espectro não é visível para o ser humano, por isso, o tubo da lâmpada tem suas paredes internas revestidas por um pó branco fluorescente que absorve a radiação ultravioleta emitida pelos átomos, re-emitindo-a em seguida na forma de luz visível.



Formação do plasma no tubo

Figura 20: Formação do plasma no interior da lâmpada Fonte: NETTO(2000-2007)

A TV de plasma, apesar da maior complexidade no mecanismo de formação das cores, segue o mesmo princípio. A tela é composta por dois vidros revestidos pela substância fluorescente entre os quais estão dois eletrodos, o gás e dois dielétricos. O gás é excitado através de descargas de tensão até se tornar plasma conduzindo corrente elétrica e emitindo radiação ultravioleta que, ao ser re-emitida pela substância fluorescente, provoca a emissão da luz verde, vermelha e azul.(NETTO, 2000-2007)

Metodologia e desenvolvimento da proposta

Os elementos básicos do plasma compõem um dos temas mais complexos da Física devido ao fato de estarem ligados a fenômenos que, para serem compreendidos, requerem uma boa capacidade de abstração por parte do estudante. Mas isso não é motivo para privar seu acesso aos alunos do ensino médio.

É preciso apresentar este conceito num momento em que o aluno já possua suficientes subsídios cognitivos para poder compreendê-lo, ou seja, ele deve possuir os pré-requisitos necessários ao entendimento do conceito de plasma físico.

Nesse contexto, o último ano do ensino médio se mostra como melhor opção (comparado aos outros dois anteriores), pois nele o aluno já teve a oportunidade de conhecer os conceitos de energia e estados da matéria, entre outros. Esta atividade consistirá em uma aula, no formato de seminário, com o uso de uma apresentação em Power Point.

A primeira etapa será direcionada para a motivação dos alunos com o uso de algumas perguntas como “Você sabe o que é plasma?” ou, “O que há em comum entre o plasma sanguíneo e o plasma de uma TV?” com a intenção de obter informações sobre aquilo que os alunos já conhecem ou tenham ouvido falar sobre plasma.

Uma alternativa interessante é utilizar os meios de entretenimento mais comuns entre os alunos que explorem o conceito de plasma físico como em desenhos animados, filmes de ficção-científica, jogos de vídeo-game entre outros, ou seja, utilizar maneiras informais de contato com o conceito de plasma no sentido de mudar a rotina da aula, buscando integrar o aluno, tornando a maneira de conduzir o tema mais aprazível aos olhos dele.

Quando se fala em “considerar o mundo vivencial dos alunos” (PCN, 1999), surge a idéia de buscar atrair o interesse deles pelo conceito que se pretende ensinar através do uso de exemplos presentes não apenas em equipamentos com os quais eles possam lidar em seu cotidiano, como uma tv de plasma, por exemplo, mas também nos meios que buscam para se divertir.

Isso está de acordo com o trabalho desenvolvido por Antonio Ontoria (et all) que busca no uso dos mapas mentais desenvolvidos por Tony Buzan uma forma de potencializar a aprendizagem dos alunos através do que ele classifica como aprendizagem total.

Segundo Ontoria. (et all) (2003)

Quando se consegue atingir a confluência de pensamento, sentimento e ação, a convivência em sala de aula e no centro educacional modela-se em um ambiente positivo de trabalho, relacionamentos e aceitação.

Um bom exemplo pode ser encontrado em personagens de histórias em quadrinhos, filmes ou desenhos animados capazes de “manipular o plasma solar” além de diversos jogos de vídeo-game onde é possível encontrar o termo plasma ligado a armamentos extremamente destrutivos. Ou seja, é bastante provável que um dos alunos tenha entrado em contato com o conceito de plasma de uma maneira “informal” (no sentido de não ser justificada cientificamente) e isto pode ser usado no momento em que ele estiver sendo apresentado ao conceito correto aos olhos da Física.

O próximo passo será fazer uma revisão sobre os estados básicos da matéria, para em seguida apresentar a definição de plasma físico. Logo após serão mostrados os exemplos de plasmas naturais como o sol, raios, auroras polares e a atividade prossegue com a apresentação das características e fenômenos básicos que ocorrem no plasma.

Feito isso, será apresentada a interação do plasma com campos eletromagnéticos, descrevendo o fenômeno da reconexão de linhas magnéticas na Terra e no sol. A interação do vento solar com o campo eletromagnético da Terra será o tópico principal nesta etapa, que terá um caráter mais informativo.

O confinamento de plasma na Terra e as diversas utilizações do plasma no cotidiano encerrarão a apresentação. Nesta etapa serão apresentados o TOKAMAK e o mecanismo funcionamento da lâmpada fluorescente mostrando seus pontos positivos e negativos em relação aos antigos modelos de lâmpadas. A seguir virão as considerações finais e a etapa de avaliação, que será feita através de questões dissertativas sobre o tema.

Plano de Aula

1. Tema

O tema da aula é o plasma físico.

2. Pressupostos Conceituais Necessários

É necessário que o aluno traga consigo conceitos bem fundamentados de estados da matéria, conservação da energia, carga elétrica, campo elétrico, campo magnético e ondas eletromagnéticas.

3. Estrutura da aula

A aula será no formato de um seminário com o uso de uma apresentação em power point. O tempo previsto para sua realização é de 100 minutos (dois tempos consecutivos de 50 minutos com um intervalo, se necessário).

4. Objetivos

O principal objetivo desta aula é a divulgação da cultura científica. Ao final da atividade o aluno deve ser capaz de:

- definir de maneira correta o plasma físico;
- diferenciar um estado plasmático de outro estado qualquer da matéria;
- reconhecer as maneiras de confinamento do plasma físico na Terra;

5. Conteúdos

- Plasmas Naturais;
- Plasmas no Cotidiano.

6. Estratégias

a) Motivação

Conversa inicial buscando identificar possíveis informações que os alunos já possuam a respeito do Plasma Físico (que tipo de definição conhecem, características, exemplos etc.).

Ex:

- Você sabe o que é plasma?
- (Se) Onde você já ouviu falar de plasma?
- O que há em comum entre o plasma de uma TV e o plasma sanguíneo? Quais as diferenças entre eles?

b) Introdução

É feita a definição de Plasma Físico, descrevendo características e expondo exemplos de Plasmas Naturais que ocorrem na Terra e no universo.

c) Desenvolvimento

Explicação detalhada dos exemplos (sol, auroras, raios etc) citados na etapa anterior. Serão utilizados vídeos e imagens provenientes da Internet nesta etapa para aprofundar e enriquecer o aprendizado. O confinamento do plasma na Terra também será descrito aqui. Apresentação de exemplos do uso de plasma no cotidiano. Considerações acerca do mecanismo de funcionamento da lâmpada fluorescente e da TV de plasma.

d) Conclusão

Considerações finais e preparação para a próxima etapa: avaliação.

7. Avaliação

Será do tipo qualitativa onde aluno responderá a questões sobre o tema.

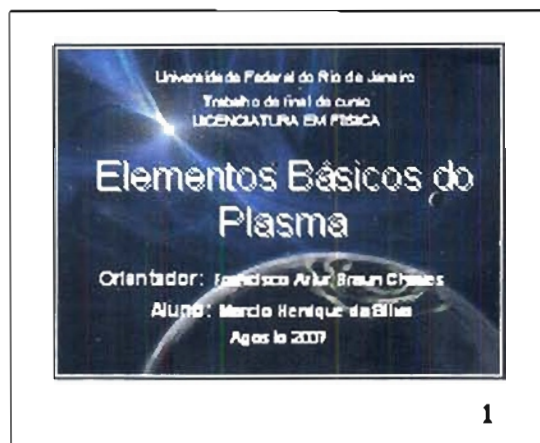
Exemplo:

- De acordo com o que foi estudado, é correto afirmar que o fogo é um exemplo de plasma físico? Justifique.

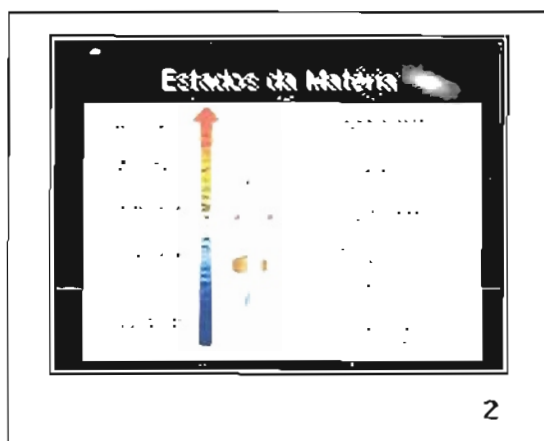
Descrição do PPT

Aqui estão as sugestões para quando o professor estiver fazendo uso desta apresentação.

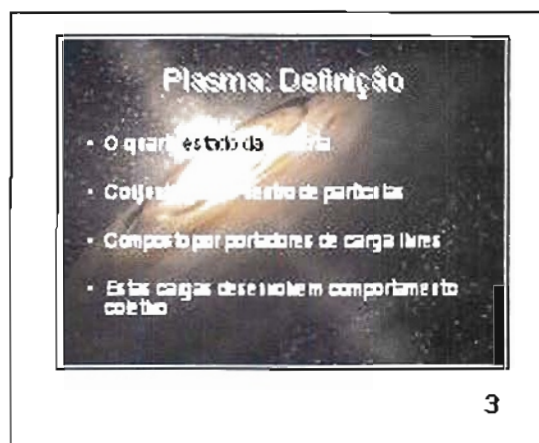
Tela 1: Título



Tela 2: Estados da matéria



Tela 3: Definição de Plasma

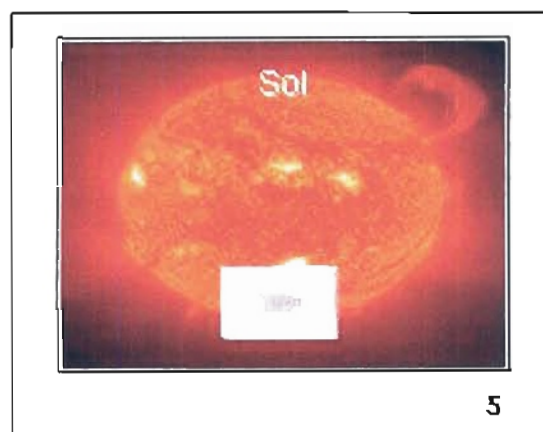


Para este grupo de slides é recomendável a leitura das páginas 10 a 17.

Tela 4: Plasmas naturais



Tela 5: Sol



Tela 6: Camadas do sol



Tela 7: Vento solar




Tela 8: Aurora polar



Para este grupo de slides é recomendável a leitura das páginas 19 a 26.

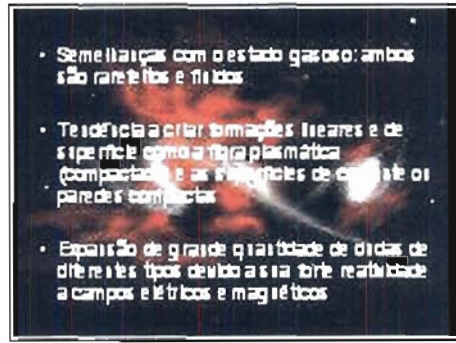
Telas 9 e 10: Características



Características

- Emissão de radiação eletromagnética
- Assim como ocorre nos condutores metálicos, a alta velocidade das partículas cria uma corrente elétrica e produz radiação eletromagnética, produzindo seu aquecimento
- Projeção de deplas: partículas que se movem muito rapidamente em relação aos campos elétricos e magnéticos

9

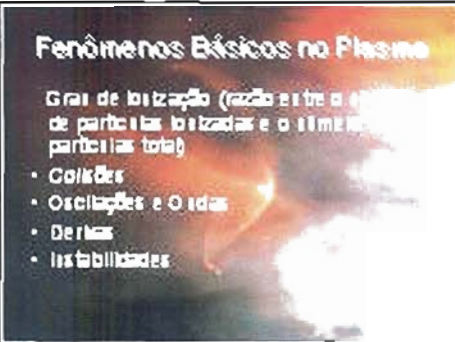


- Semelhantes com o estado gasoso: ambos são rarefeitos e fluidos
- Tendência a criar formações lineares e de superfície com a força plasmática (compressão e as interações de corrente ou pares de correntes)
- Expansão de grande quantidade de dados de diferentes tipos devido a sua forte reatividade a campos elétricos e magnéticos

10

Recomendável a leitura das páginas 27 e 28.

Tela 11: Fenômenos básicos no plasma



Fenômenos Básicos no Plasma

Grav de interação (resultado entre o movimento de partículas ionizadas e o limite das partículas totais)

- Colisões
- Oscilações e Ondas
- Derivas
- Instabilidades

11

Recomendável leitura das páginas 31 a 34.

Tela 12: Reconexão de linha magnéticas



Reconexão de Linhas Magnéticas

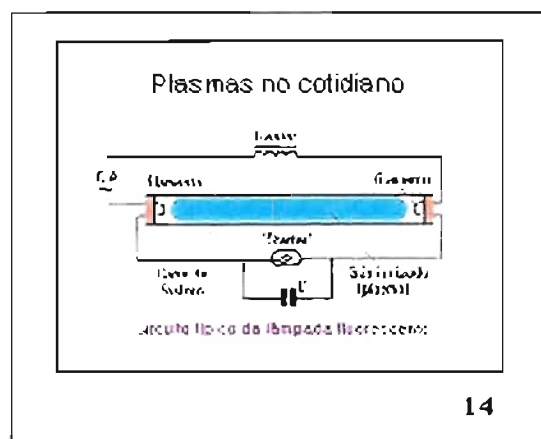
12

Recomendável leitura das páginas 36 a 39

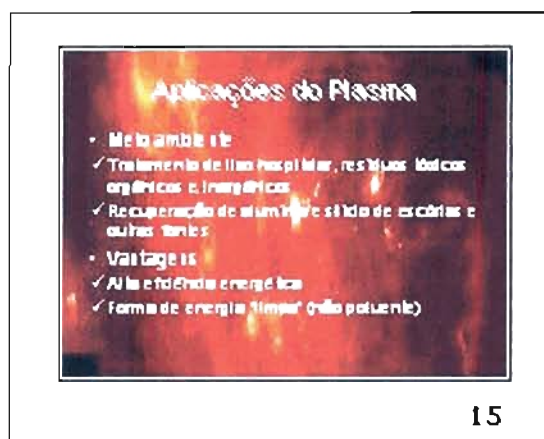
Tela 13: Confinamento de plasma



Tela 14: Plasmas no cotidiano



Tela 15: Aplicações do plasma



Para estes slides é recomendável a leitura das páginas 40 a 42.

Conclusão

Uma atividade como esta requer, entre outros fatores, preparo por parte do professor que se proponha a utilizá-la e tempo hábil tendo em vista que a carga horária dos alunos do Ensino Médio já se encontra saturada.

O tema plasma físico é bastante complexo em seus detalhes, sendo, por isso, importante que o professor esteja bem preparado para poder ter condições de atingir um maior rendimento dos alunos. Não basta apenas expor o assunto, é preciso contextualizá-lo, ressaltando a ligação entre ele e os demais conceitos já estudados anteriormente.

A questão do tempo é também importante, pois, em muitos colégios, a Física tem apenas 100 minutos disponíveis por semana. Uma possibilidade seria a criação de horários alternativos para aulas como esta, que podem ser encaradas como práticas de extensão curricular, onde a avaliação seria utilizada no sentido de complementar a nota obtida nas provas convencionais.

Com isso, esta proposta pode atingir um resultado satisfatório de divulgação da cultura científica e abrir portas para que mais iniciativas no sentido de tornar a Física Moderna e Contemporânea parte integrante do currículo do Ensino Médio, não como “mais um capítulo do livro que os alunos devem decorar” e sim, como um conhecimento que possa acompanhá-los deste momento de suas vidas em diante.

Bibliografia

- TERRAZAN, E. A. A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2o Grau. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. 9, 3 (1992)
- VALADARES, E. C. e MOREIRA, A. M. Ensinando Física Moderna no Segundo Grau: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. 15, 2 (1998)
- PINTO, A.C. e ZANETIC, J. É Possível Levar a Física Quântica Para o Ensino Médio? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. 16, 1 (1999).
- OSTERMANN F. e CAVALCANTI C. J. H. Um Pôster Para Ensinar Física das Partículas. **Revista Física na Escola** 2, 1 (2001)
- SANTOS, J. N. e TAVARES, R. Aprendizagem Significativa. **Revista Conceitos**. (Julho 2003/ Junho 2004)
- PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais. MEC ; Brasília (1999)
- VILLANI, A. Reflexões sobre o Ensino de Física no Brasil: Práticas, Conteúdos e Pressupostos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo: SBF, 6, p. 76-95, 1984.
- TERRAZAN, E. A. **Perspectivas para a Inserção da Física Moderna na Escola Média**. 1994. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- GASPAR A. Física 2, Ondas, Óptica. Termodinâmica. Editora Ática, São Paulo/SP, 2000.
- GUIMARÃES L. A., FONTE BOA M. C., Física, terminologia e Óptica. Editora Futura, Niterói/RJ, 2001.
- MARTINS, Joinville/UDESC, 2004.
<http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/index.php?idSecao=8&idSubSecao=&idTexto=42> (Último acesso em 18/07/2007)
- Site UFPEL
http://www.ufpel.tche.br/ifm/petfisica/index_arquivos/Page1836.htm (Último acesso 18/07/2007)
- KULHANEK P., BREN D., ZACEK M., PASEK J., KAIZR V., STRANSKY M., SKANDERA D., HOFMAN J., REZAC K., SMETANA M., JASANSKY M., PRIKAZKY J., ROZEHNAL J., BRICHNAC P., 2003.
 1- http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/plazma/basics_es.html
 2- http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/plazma/phenomena_es.html
 3- http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/plazma/pinch_es.html

4- http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/plazma/reconnection_es.html
(Último acesso em 18/07/2007)

Site INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais)

1- http://www.plasma.inpe.br/LAP_Portal/LAP_Sitio/Texto/Diversidade_de_Plasmas.htm

2- http://www.plasma.inpe.br/LAP_Portal/LAP_Sitio/Texto/Tokamak_Esferico_ETE.htm
(Último acesso em 18/07/2007)

Site CPEP (Contemporary Physics Education Project)

1- http://fusedweb.pppl.gov/CPEP/Chart_Pages/5.Plasmas/SolarWind.html

2- http://fusedweb.pppl.gov/CPEP/Chart_Pages/5.Plasmas/SunLayers.html

3- http://fusedweb.pppl.gov/CPEP/Chart_Pages/5.Plasmas/Lightning.html

(Último acesso em 18/07/2007)

Site NASA

1- http://soho.nascom.nasa.gov/gallery/top10/top10_detail_SuperpromA.html

2- <http://www-spf.gsfc.nasa.gov/Education/wsun.html>

3- <http://www-spf.gsfc.nasa.gov/Education/wsowind.html>

4- <http://www-spf.gsfc.nasa.gov/Education/waurora1.html>

5- http://www.nasa.gov/mission_pages/solar-b/solar_020.html

(Último acesso em 18/07/2007)

ENCICLOPÉDIA LAROUSSE CULTURAL, 1995.

NETTO, L. F. **A Lâmpada Fluorescente (Quantum e Plasma)**, publicado em

http://www.feiradeciencias.com.br/sala18/18_03.asp 2000-2007.(Último acesso em 18/07/2007)

COSTA, R. N. P. **Plasma Gerado Por Fonte de Radiofrequência** (Projeto de Iniciação Científica), 2003.

www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2003/002362Raimundo-Machida%2520F809_RF02_0.pdf (Último acesso em 18/07/2007)

Site UNB

<http://www.fis.unb.br/plasmas/Aula%203.pdf>

(Último acesso em 18/07/2007)

P.A. TIPLER e R.A. Llewellyn, **Física Moderna**, LTC editora, RJ, Brasil, 2001

Site IPT

<http://www.ipt.br/atividades/servicos/chat/?ARQ=17> (Último acesso em 18/07/2007)

ONTORIA A., GOMEZ J. P. R., DE LUQUE A., **Aprender com Mapas Mentais**. Madras Editora, Espanha, 2003.